

多类型多区域综合能源系统协同规划

邓昕¹, 代琼丹²

(1. 浙江大学 工程师学院, 浙江 杭州 310015; 2. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 经济社会的发展和消费水平的提高, 促使人们对提高能源利用效率的要求进入新的层次, 综合能源系统的研究应运而生。针对多类型多区域综合能源系统协同规划问题, 文章按照负荷特性的不同, 将规划区域分为不同的区域; 建立以冷、热、电三联供(CCHP)系统为主的协同规划模型, 使用Yalmip工具箱及CPLEX对模型进行分析, 求解得到不同区域内设备的容量规划。仿真分析结果表明, 多类型多区域综合能源系统协同规划能够提高综合能源系统的经济性。

关键词: 多类型; 多区域; 综合能源系统; 协同规划

中图分类号: TM761

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)03-0033-07

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.03.007

Collaborative Planning of Multi-type and Multi-region Integrated Energy System

DENG Xin¹, DAI Qiongdan²

(1. Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310015, China;

2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: With the development of economy and the improvement of consumption level, people's requirements for improving energy utilization efficiency have entered into a new level, and the research of comprehensive energy system is emerging. To solve the problem of multi-type and multi-region integrated energy system collaborative planning, according to the different load characteristics, a planning area was divided into different regions; then, a CCHP (combined cooling, heating and power) system based collaborative planning model was established, and the Yalmip toolbox and CPLEX were used to analyze the model to get the capacity planning of equipment in different regions. Simulation results show that the multi-type and multi-region integrated energy system collaborative planning can improve the economic efficiency of the comprehensive energy system.

Keywords: multi-type; multi-region; integrated energy system; collaborative planning

0 引言

进入21世纪以来, 能源危机和环境污染问题日趋严重, 催生了人们对多种能源综合利用的需求, 如何进一步提高能源利用多样性、减少环境污染, 已成为当今学术界乃至整个社会关注的热点。借助973计划、863计划等研究课题, 我国启动了与综合能源规划相关的技术研究和创新, 对综合能源利用技术进行大力推广, 并开始建立源端清洁、使用安全、综合高效、供应可持续的能源服务结构和供应体系。2016年3月, 国家发布了

《十三五规划纲要》, 其将“积极建设源-网-荷-储协调发展、集成互补的综合能源系统”作为建设的一项重要内容。对于综合能源系统的规划与运行问题, 目前已有较多研究。文献[1]利用最优潮流算法, 构建直流交流混合传输电网二层规划最优潮流模型, 对“源-网-荷”三部分进行优化调度。文献[2]建立冷、热、电三联供(combined cooling, heating and power, CCHP)系统的最优潮流方程, 利用多能耦合定价机制, 对系统节点的定价问题进行了分析, 促使更多用户合理用能, 使得综合能源系统中相关能源价值得到更好的体现。文献[3]从模型、算法及指标体系3个方面, 分析了在综合能源系统进行可靠性评估的过程中可能面临的问题。文献[4]

收稿日期: 2019-09-27

作者简介: 邓昕(1997—), 硕士研究生, 主要研究方向为微电网技术及装备、综合能源系统规划运行。

对区域性综合能源冷热电负荷能量平衡性展开研究,但未考虑通道传输实际过程需要满足的约束条件。文献[5]利用混合整数线性模型,进行了多类型多区域的电气系统协同规划。文献[6]针对规模较大的发输电系统及拓展天然气网络,提出了一种基于多阶段的综合规划模型。文献[7]概括了区域综合能源系统的常用建模方法与系统仿真技术。文献[8]对区域性综合能源系统的相关构成进行了介绍,并对其稳态分析的具体方法进行了详细阐述。在上述研究背景下,本文拟构建以CCHP系统为典型的多类型多区域综合能源系统协同规划模型,并将不同区域作为规划对象,选定区域典型数据,使用Matlab软件、Yalmip工具箱及CPLEX求解器进行求解。仿真结果表明,通过多类型“功能块”综合能源系统协同规划,能够提高设备利用率以及综合能源系统的经济性。

1 多类型多区域综合能源系统理论简介

1.1 多区域划分

考虑行政区域与城乡规划以及区域内负荷特性、用地特性及供电特性,将区块内这3个特性分布趋于一致和平衡的地块以及地理位置相近的地块划分为同一区域。同一区域不可横跨市政分区和控规边界。

对于规划区域,以我国综合能源系统发展背景和展现现状作为基础,以部分地块的冷、热、电需求作为导向,制定区域控制的详细目标和计划,对不同地块的允许开发深度和冷、热、电性质进行详细的分类。根据区域内冷、热、电负荷的预测结果以及各个地块能源系统的冷、热、电负荷性质,将规划区域分为相应的能源网络,实现不同区域配置。

将规划对象按照多区域划分,一方面可以获得联网效益,将电力调节过程中的动态效益、不同区域之间冷、热、电负荷的错峰效益等进行一定程度的提高,另一方面还可以降低投资成本和运行成本。

1.2 CCHP系统模型

综合能源系统是围绕能源供给体系提出的新概念。综合能源系统作为开展综合能源供给侧创新的重要平台,其在各种能源系统和电力系统的建设、维护和运行的过程中,有机协调和优化各个能源系统的供应、传输、分配及消费等环节,最终形成相应的能源一体化系统^[9]。本文采用CCHP系统作为典型的综合能源系统进行研究。

CCHP系统依据能量梯级利用原理^[10-11],可以同时向用户输送冷、热、电3种形式的能量,其设备构成如图1所示。CCHP系统主要燃料为天然气,天然气被输

送到燃气发电设备,通过消耗天然气,带动以燃气轮机为代表的燃气发电设备运行^[12],产生的电力大部分供用户使用,小部分供电制冷机消耗以满足用户的一部分冷需求;燃气发电设备产生的余热和燃气锅炉产生的热量大部分被输送给用户以提供所需热力,小部分由吸收式制冷机消耗供冷。燃气发电设备产生的余热还可通过余热回收设备,来满足用户的冷热需求。

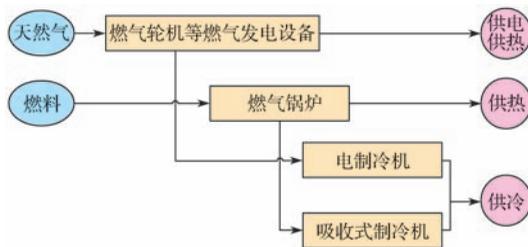


图1 CCHP系统设备构成

Fig. 1 Composition of CCHP system equipments

CCHP系统将生产冷、热、电的设备规划在同一个系统中,大大提高了各种能源的利用效率:普通热电的利用效率不足50%;在CCHP系统中,热电效率为70%左右,最高可达90%,系统在保证能源高效利用的同时,大大减少了排放物所造成的环境污染^[13]。

随着能源技术的创新发展和经济水平的提高,CCHP系统得到了迅猛的发展,然而受技术条件的限制及更高经济性要求的制约,仍然使得CCHP系统设备容量和组合方式的选择面临很多困难。夏季、冬季、过渡季,不同季节有着不同的冷、热、电需求;上午、下午、晚上,一天中不同的时刻面临着不同的日运行负荷变化,因此,选择更高效的调控方式、采用更经济的运行策略,对CCHP系统的优化起着举足轻重的作用。虽然CCHP系统适应性强,但是多场景、多时刻、多类型的组合方式和负荷特性,大大增加了整个系统规划的难度^[14-16]。

2 系统模型构建

针对不同区域不同时间对冷热电负荷需求的不同,建立相应的目标函数和约束条件^[16]。CCHP系统通常及投资金额和长期运行费用最少为目标,解决何时何地建设何等容量产能装置、输送管网或能源变换装置的问题^[17]。投资运行费用包括:机组年投资成本、燃料费用及购电费用等。运行中按照不同冷、热、电需求考虑:设备的固有约束和电平衡约束、各类装置施工和投建约束、冷热平衡约束及运行的上下限约束等^[18-19]。

2.1 CCHP系统目标函数

以机组年投资费用、燃料费用及购电费用之和最小为目标,建立CCHP系统的目标函数;

(1) CCHP机组年投资费用

$$C_{\text{cchp}} = R \sum_{i=1}^{N_{\text{cchp}}} (K_{\text{gt},r} W_{\text{gt},i,r} + K_{\text{gb},r} W_{\text{gb},i,r} + K_{\text{ec},r} W_{\text{ec},i,r} + K_{\text{ac},r} W_{\text{ac},i,r}) \quad (1)$$

式中: R ——年折算系数; $K_{\text{gt},r}$ ——燃气轮机单位容量价格; $K_{\text{gb},r}$ ——燃气锅炉单位容量价格; $K_{\text{ec},r}$ ——电制冷机单位容量价格; $K_{\text{ac},r}$ ——吸收式制冷机单位容量价格; $W_{\text{gt},i,r}$ ——CCHP系统燃气轮机容量; $W_{\text{gb},i,r}$ ——CCHP系统燃气锅炉容量; $W_{\text{ec},i,r}$ ——CCHP系统电制冷机容量; $W_{\text{ac},i,r}$ ——CCHP系统吸收式制冷机容量; N_{cchp} ——CCHP系统的个数。

(2) 燃料费用

$$C_f = \sum_{i=1}^{N_{\text{cchp}}} \sum_{t=1}^{N_t} \frac{\Delta t K_f}{H_{\text{ng}}} \left(\frac{P_{\text{gt},i,t}}{\eta_{\text{gt},i}} + \frac{H_{\text{gb},i,t}}{\eta_{\text{gb},i}} \right) \quad (2)$$

式中: N_t ——全年时段数; $\eta_{\text{gt},i}$ ——燃气轮机的发电效率; $P_{\text{gt},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统燃气轮机的功率; $\eta_{\text{gb},i}$ ——燃气锅炉的发热效率; $H_{\text{gb},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统燃气锅炉的功率; K_f ——燃气单价; H_{ng} ——天然气的热值,取 $9.78 \text{ (kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3})$; Δt ——时间间隔,取值为 1 h 。

(3) 购电费用

$$C_e = \sum_{i=1}^{N_{\text{cchp}}} \sum_{t=1}^{N_t} K_{e,i,t} P_{\text{ex},i,t} \Delta t \quad (3)$$

式中: $K_{e,i,t}$ —— t 时刻CCHP系统购电单价; $P_{\text{ex},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统购电总量。

2.2 CCHP系统约束条件

文中CCHP系统的约束条件,考虑了冷热电功率平衡约束、安装设备约束和运行上下限约束,每个约束对居民区、商业区、办公区与工业区4个区域都成立,具体如下:

(1) 冷热电功率平衡约束

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{d},i,t} &= \sum_{r \in \Omega_{\text{GT}}} P_{\text{gt},i,t} + P_{\text{ex},i,t} - P_{\text{ec},i,t} \\ H_{\text{d},i,t} &= \sum_{r \in \Omega_{\text{GT}}} \left(P_{\text{gt},i,t} \frac{1 - \eta_{\text{gt},i}}{\eta_{\text{gt},i}} \right) \eta_{\text{hr},i} \eta_{\text{he},i} \\ &\quad + \sum_{r \in \Omega_{\text{GB}}} H_{\text{gb},i,t} \eta_{\text{he},i} - H_{\text{ac},i,t} \eta_{\text{he},i} + H_{\text{ex},i,t} \\ C_{\text{d},i,t} &= H_{\text{ac},i,t} E_{\text{ac},i} + P_{\text{ec},i,t} E_{\text{ec},i} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中: $P_{\text{d},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统中用户的电负荷需求; $P_{\text{ec},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统电制冷机的功率; $H_{\text{d},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统中用户的热负荷需求; $\eta_{\text{hr},i}$ ——热回收器的回收效率,取 0.75 ; $\eta_{\text{he},i}$ ——热交换器的交换效率,取 0.9 ; $H_{\text{ex},i,t}$ ——CCHP系统与热网交互的热能; $C_{\text{d},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统中用户的冷负荷需求; $E_{\text{ec},i}$ ——CCHP系统电制冷机的制冷效率; $E_{\text{ac},i}$ ——CCHP系统吸收式制冷机的制冷效率; Ω_{GT} ——燃气轮机型号总集; Ω_{GB} ——燃气锅炉型号总集; $H_{\text{ac},i,t}$ —— t 时刻CCHP系统吸收式制冷机消耗的功率; r ——每种设

备不同的型号。

(2) 安装设备约束

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq W_{\text{gt},i,r} / P_{\text{gt},r,\text{max}} \leq x_{\text{gt},i,r} \\ 0 &\leq W_{\text{gb},i,r} / H_{\text{gb},r,\text{max}} \leq x_{\text{gb},i,r} \\ 0 &\leq W_{\text{ec},i,r} / P_{\text{ec},r,\text{max}} \leq x_{\text{ec},i,r} \\ 0 &\leq W_{\text{ac},i,r} / H_{\text{ac},r,\text{max}} \leq x_{\text{ac},i,r} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中: $P_{\text{gt},r,\text{max}}$ ——燃气轮机功率的最大值; $x_{\text{gt},i,r}$ ——CCHP系统燃气轮机的运行状态 ($x_{\text{gt},i,r}=0$ 时不运行, $x_{\text{gt},i,r}=1$ 时运行); $H_{\text{gb},r,\text{max}}$ ——燃气锅炉功率的最大值; $x_{\text{gb},i,r}$ ——CCHP系统燃气锅炉的运行状态 ($x_{\text{gb},i,r}=0$ 时不运行, $x_{\text{gb},i,r}=1$ 时运行); $P_{\text{ec},r,\text{max}}$ ——电制冷机功率的最大值; $x_{\text{ec},i,r}$ ——CCHP系统电制冷机的运行状态 ($x_{\text{ec},i,r}=0$ 时不运行, $x_{\text{ec},i,r}=1$ 时运行); $H_{\text{ac},r,\text{max}}$ ——吸收式制冷机功率的最大值; $x_{\text{ac},i,r}$ ——CCHP系统吸收式制冷机的运行状态 ($x_{\text{ac},i,r}=0$ 时不运行, $x_{\text{ac},i,r}=1$ 时运行)。

(3) 运行上下限约束

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{gt},r,\text{min}} &\leq P_{\text{gt},i,t} \leq P_{\text{gt},r,\text{max}} \\ H_{\text{gb},r,\text{min}} &\leq H_{\text{gb},i,t} \leq H_{\text{gb},r,\text{max}} \\ P_{\text{ec},r,\text{min}} &\leq P_{\text{ec},i,t} \leq P_{\text{ec},r,\text{max}} \\ H_{\text{ac},r,\text{min}} &\leq H_{\text{ac},i,t} \leq H_{\text{ac},r,\text{max}} \\ P_{\text{ex},i,\text{min}} &\leq P_{\text{ex},i,t} \leq P_{\text{ex},i,\text{max}} \\ H_{\text{ex},i,\text{min}} &\leq H_{\text{ex},i,t} \leq H_{\text{ex},i,\text{max}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中: $P_{\text{gt},r,\text{min}}$ ——燃气轮机功率下限; $H_{\text{gb},r,\text{min}}$ ——燃气锅炉功率下限; $P_{\text{ec},r,\text{min}}$ ——电制冷机功率下限; $H_{\text{ac},r,\text{min}}$ ——吸收式制冷机功率下限; $P_{\text{ex},i,\text{max}}$ ——CCHP系统购电上限; $P_{\text{ex},i,\text{min}}$ ——CCHP系统购电下限; $H_{\text{ex},i,\text{max}}$ ——CCHP系统与热网交互上限; $H_{\text{ex},i,\text{min}}$ ——CCHP系统与热网交互下限。

3 算例分析

将杭州市某一综合区域作为研究对象,选定A、B两种模式。A种模式下,将规划区域作为一个整体,不考虑区域负荷特性,建立冷热电联供系统,对应的规划面积为 80 万 m^2 ; B种模式下,根据冷、热、电需求的不同,将规划区域划分为不同区域,分别为居民区、商业区、办公区与工业区,如图2所示。

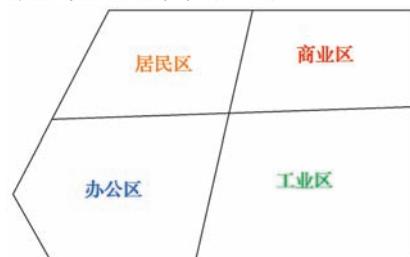


图2 多类型多区域综合能源系统算例
Fig.2 An example of multi-type and multi-region integrated energy system

3.1 仿真参数

B 种模式下对应的规划面积分布情况为：居民区约 14 万 m^2 ，商业区约 14 万 m^2 ，办公区约 20 万 m^2 ，工业区约 32 万 m^2 。天然气的价格为 2.37 元/ m^3 ，居民区电价、商业区电价、工业区电价、办公区电价、不分区电价分别为 0.54 元/(kWh)、0.9 元/(kWh)、0.71 元/(kWh)、0.5 元/(kWh)、0.66 元/(kWh)。规划年限定为 10 年，每年的年利率约为 5%，不同区域不同季节的冷、热、电负荷特性如图 3~ 图 11 所示^[20-21]。

图 3~ 图 5 示出不同区域不同季节用户的热负荷需求，比较可得，夏季和过渡季的热负荷需求差别不大，冬季的热负荷需求相对增大。对工业区而言，其热负荷

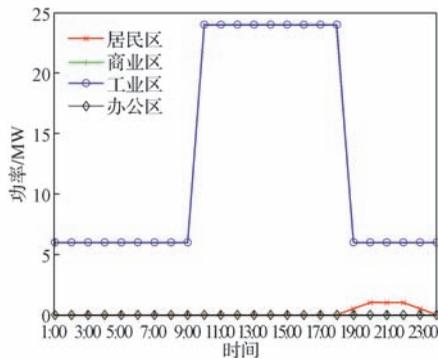


图 3 夏季不同区域用户热负荷需求
Fig.3 Thermal load demands of users in different regions in summer

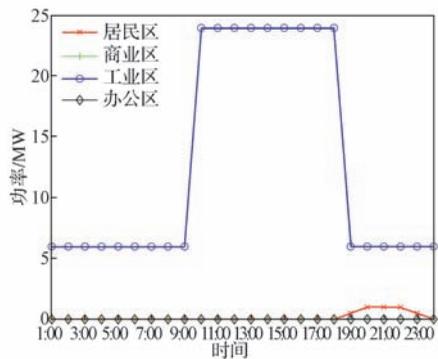


图 4 过渡季不同区域用户热负荷需求
Fig.4 Thermal load demands of users in different regions during transition season

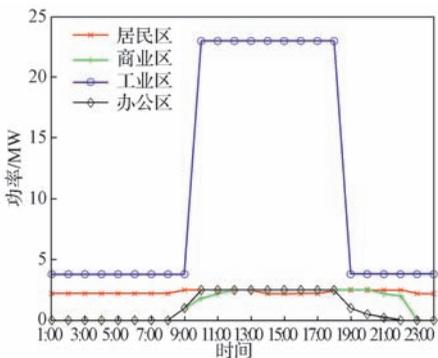


图 5 冬季不同区域用户热负荷需求
Fig.5 Thermal load demands of users in different regions in winter

需求时间主要集中在 9:00~19:00，这和工业区工作时间吻合；对于居民区，夏季和过渡季的热负荷需求时间在 18:00~24:00 之间，这是由于此时居民有洗漱等热水需求；商业区和办公区的热负荷需求集中在冬季，时间为 8:00~23:00，对应商业区和办公区工作的开始时间和结束时间，意味着此两区工作区间内需要提供热来满足人员对保暖的需求。

由图 6~ 图 8 可得不同季节、不同区域用户的冷负荷需求，在冬季时，四类区域的冷负荷均为 0；过渡季和夏季时，4 类区域的冷负荷集中时间也是各地区的工作时间，即 8:00~23:00，其中居民区夏季时时间会提前到 7:00，这也与居民区夏季生活时间的提前相符合。

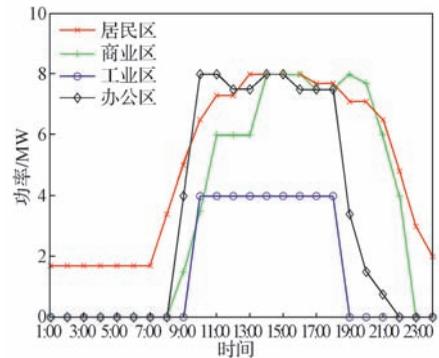


图 6 夏季不同区域用户冷负荷需求
Fig.6 Cold load demands of users in different regions in summer

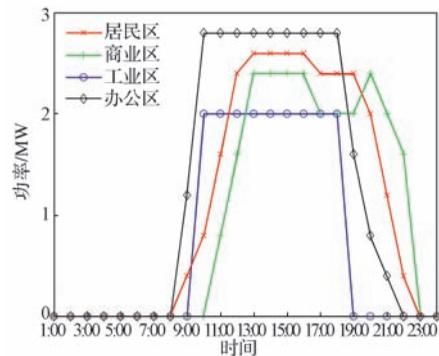


图 7 过渡季不同区域用户冷负荷需求
Fig.7 Cold load demands of users in different regions during transition season

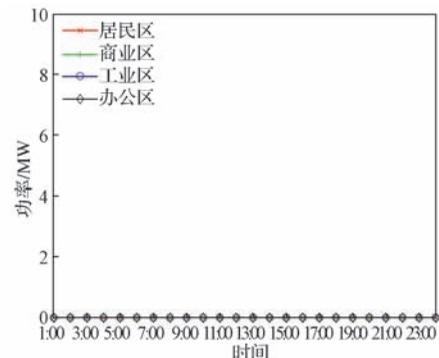


图 8 冬季不同区域用户冷负荷需求
Fig.8 Cold load demands of users in different regions in winter

图9~图11是不同季节、不同区域用户的电负荷需求曲线,对电负荷而言,居民区、工业区、办公区夏季、过渡季和冬季的数值差异不大。商业区冬季的电负荷需求相对于夏季和过渡季有所增加,这是由于商业区冬季需要电空调等供暖设备工作,因此电需求也相应增加。

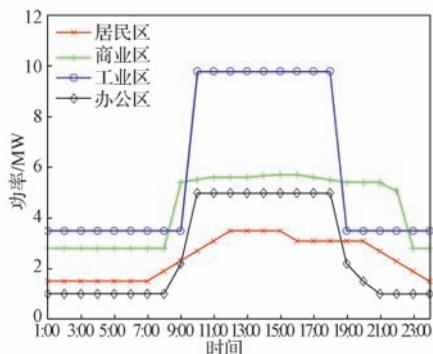


图9 夏季不同区域用户电负荷需求

Fig.9 Electrical load demands of users in different regions in summer

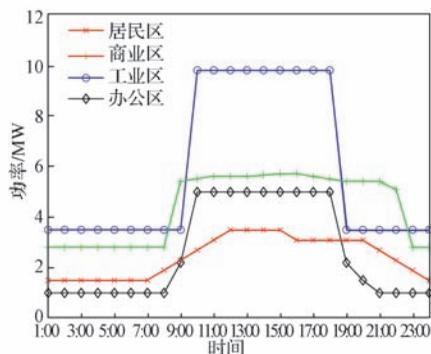


图10 过渡季不同区域用户电负荷需求

Fig.10 Electrical load demands of users in different regions during transition season

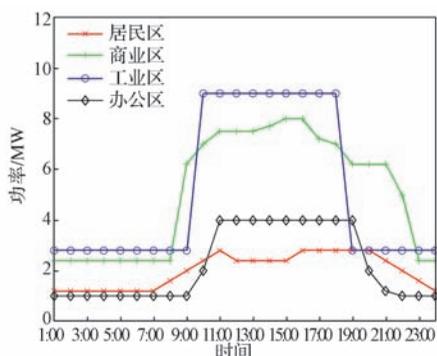


图11 冬季不同区域用户电负荷需求

Fig.11 Electrical load demands of users in different regions in winter

3.2 仿真结果及分析

3.2.1 成本分析

分析CCHP系统的投资成本,可以得到,无论在夏季、冬季,还是过渡季,B种模式下的总成本都要小于A中模式下的总成本,原因是考虑了不同区域冷、热、电负荷需求不同。负荷需求不仅影响用电端的实时需求,同时也影响供电电价,进而影响购电量和购气量。

由表1~表3可以看到,总成本的减少主要来源于购电成本的降低。

表1 夏季CCHP系统投资成本

Tab.1 Investment costs of CCHP system in summer

项目	成本/万元	
	夏季(A模式)	夏季(B模式)
CCHP 机组投资费用	1 736	1 809.8
燃气费用	5 799	5 897.5
购电费用	5 595	5 147.5
总运行成本	11 394	11 045
总成本	13 130	12 855

表2 过渡季CCHP系统投资成本

Tab.2 Investment costs of CCHP system during transition season

项目	成本/万元	
	过渡季(A模式)	过渡季(B模式)
CCHP 机组投资费用	1 384	1 384.2
燃气费用	5 048	5 057.6
购电费用	6 061	5 742.3
总运行成本	11 109	10 799.9
总成本	12 493	12 184

表3 冬季CCHP系统投资成本

Tab.3 Investment costs of CCHP system in winter

项目	成本/万元	
	冬季(A模式)	冬季(B模式)
CCHP 机组投资费用	1 560.9	1 559.1
燃气费用	5 832.1	5 856.5
购电费用	5 146.3	4 587.8
总运行成本	10 978.4	10 444.3
总成本	12 539.3	12 003

在B模式下,冬季热负荷需求较大,燃气费用最高;夏季时冷负荷需求大,燃气锅炉需要消耗燃气以产生足够的热满足吸收式制冷机的需求,因此夏季燃气费用最高。由于过渡季的设备安装费用降低,因此设备本身产电量降低,其对应的购电费用相比其他的时期有所增加。最后总成本为夏季12 855万元,过渡季12 184万元,冬季12 003万元。

3.2.2 运行分析

不同区域各季节的设备实时功率如图12~图23所示。

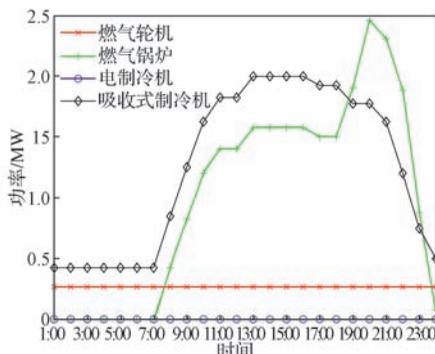


图12 夏季居民区各设备实时功率

Fig.12 Real-time powers of various equipments of residential area in summer

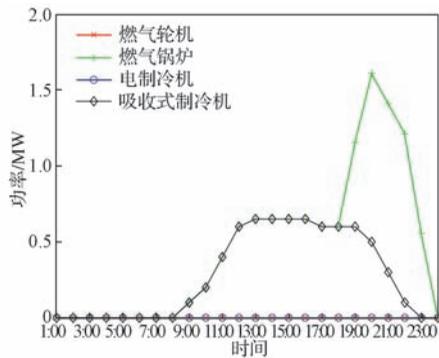


图 13 过渡季居民区各设备实时功率

Fig. 13 Real-time powers of various equipments of residential area during transition season

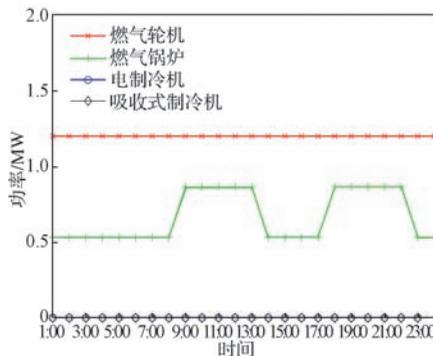


图 14 冬季居民区各设备实时功率

Fig. 14 Real-time powers of various equipments of residential area in winter

图 12~ 图 14 显示的是居民区不同季节各设备的实时功率,可以看到,作为居民区热负荷供应的燃气锅炉,其实时功率在夏季和过渡季主要集中在 8:00-24:00,并在 21:00 左右达到小高峰。分析原因可知,这部分时间居民在家休息,需要热水洗漱,因此热负荷的需求比较集中;夏季吸收式制冷机功率较高,是由于天气炎热居民需要制冷机进行降温,相对于电制冷机而言,吸收式制冷机的成本相对较低,因此其使用功率高。

由图 15~ 图 17 工业区不同季节各设备实时功率曲线可得,工业区的设备功率季节区分不大,冷、热负荷设备供应均在上午 9:00 到晚上 7:00 间,这部分时间是工业区实施工作的时间,晚上 7:00 结束后,工业区停止工作,因此冷、热负荷设备供应也随之停止;对于电负荷而言,晚上有一部分设备依然需要保持在运行状态,因此作为电负荷供应的燃气轮机在晚上仍有实时功率曲线。

图 18~ 图 20 是商业区不同季节的设备实时功率曲线,分析曲线可得,商业区从上午 8:00 开始工作,因此也从上午 8:00 开始电负荷设备燃气轮机供应上升,并在下午 4:00 达到小高峰,晚上 23:00 工作结束后,电负荷设备供应恢复稳定,只满足夜间维持的需求。对于冷、热负荷的供应,在冬季,商业区设备只需要提供热负荷满足人们保持温度的需求;在夏季和过渡季,商业区设备只需要提供冷负荷满足需求。

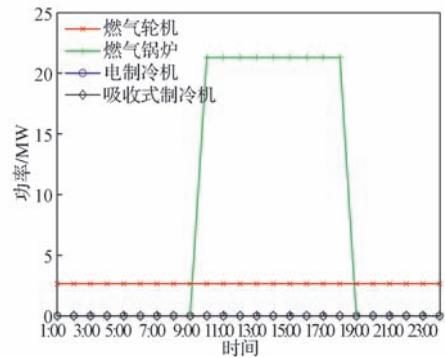


图 15 夏季工业区各设备实时功率

Fig. 15 Real-time powers of various equipments of industrial area in summer

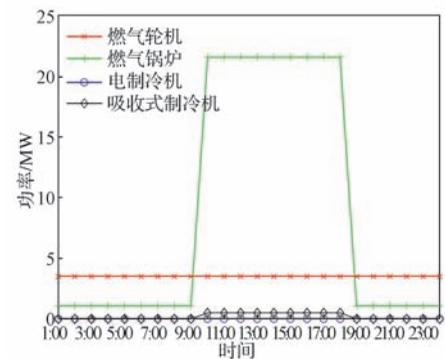


图 16 过渡季工业区各设备实时功率

Fig. 16 Real-time powers of various equipments of industrial area during transition season

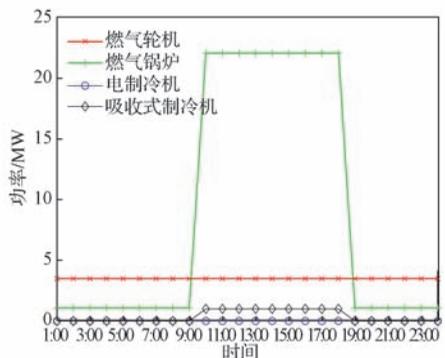


图 17 冬季工业区各设备实时功率

Fig. 17 Real-time power of various equipment of industrial area in winter

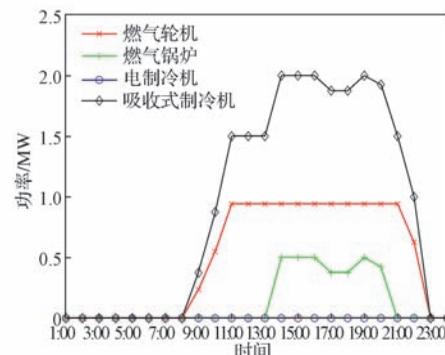


图 18 夏季商业区各设备实时功率

Fig. 18 Real-time powers of various devices of commercial area in summer

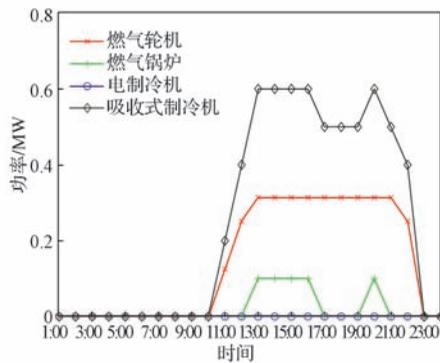


图 19 过渡季商业区各设备实时功率
Fig. 19 Real-time powers of various devices of commercial area during transition season

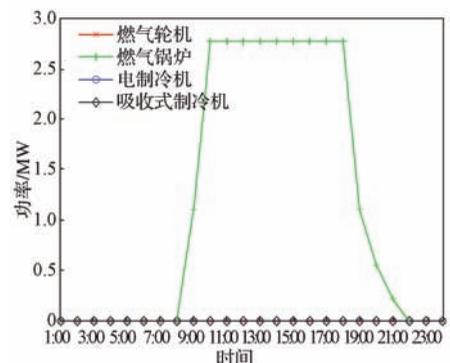


图 23 冬季办公区各设备实时功率
Fig. 23 Real-time powers of various equipments of office area in winter

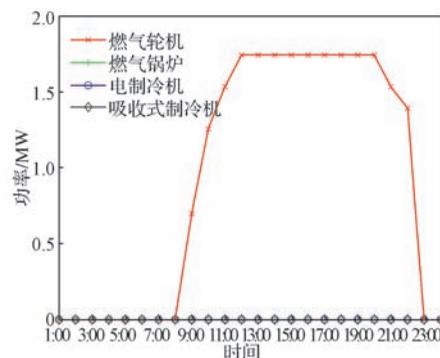


图 20 冬季商业区各设备实时功率
Fig. 20 Real-time powers of various devices of commercial area in winter

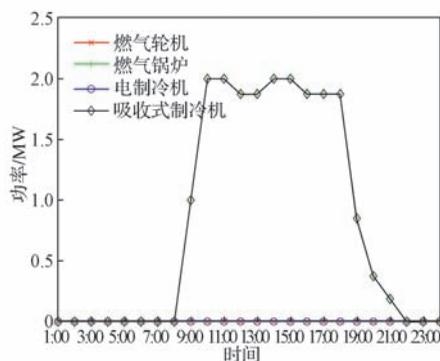


图 21 夏季办公区各设备实时功率
Fig. 21 Real-time powers of various equipments of office area in summer

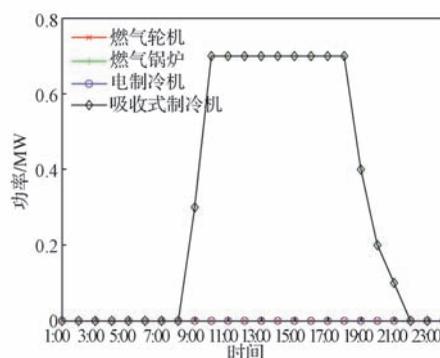


图 22 过渡季办公区各设备实时功率
Fig. 22 Real-time powers of various equipments of office area during transition season

办公区不同季节的设备实时功率曲线如图 21~ 图 23 所示, 对办公区而言, 购电成本相较于燃气轮机发电成本更低, 因此办公区的电负荷需求依靠购电, 燃气轮机无论在哪个季节均无运行; 热负荷需求由燃气锅炉设备来保障, 设备运行时间一般为 8:00~ 22:00, 这个时间段与用户办公时间段相符合; 在夏季和过渡季的冷负荷需求主要由吸收式制冷机提供, 在冬季时由于没有冷需求, 因此制冷设备的功率为 0。

4 结语

本文以一综合区域作为规划对象, 充分考虑季节负荷特性和区域负荷特性, 选定 A 和 B 两种模式, 确定典型数据, 求解得到划分多区域和不划分多区域两种模式下的总成本, 以及多区域情形下各设备不同季节的实时运行功率。分析结果表明, 多类型多区域综合能源系统协同规划适用性更强, 能够提高综合能源系统的经济性。

本文构建的 CCHP 系统模型充分考虑了机组的年投资费用、燃料费用及购电费用。约束条件也包含冷热电平衡约束、安装设备约束、运行上下限约束等等, 具有一定的理论依据。如何将所建立的模型与储能系统、风光系统相联系, 以及在各个“功能块”之间建立热网连通系统, 这是未来值得继续研究的课题。

参考文献:

- [1] 靳小龙, 穆云飞, 贾宏杰, 等. 考虑配电网重构的区域综合能源系统最优混合潮流计算 [J]. 电力系统自动化, 2017, 41(1): 18-24.
- [2] 邓莉荣, 孙宏斌, 陈润泽, 等. 面向综合能源系统的热电联供系统节点能价研究 [J]. 电网技术, 2016, 40(11): 3375-3382.
- [3] 李更丰, 别朝红, 王睿豪, 等. 综合能源系统可靠性评估的研究现状及展望 [J]. 高电压技术, 2017, 43(1): 114-121.
- [4] SHEN X W, HAN Y D, ZHU S Z, et al. Comprehensive power-supply planning for active distribution system considering cooling, heating and power load balance[J]. Journal of Modern Power Systems & Clean Energy, 2015, 3(4): 485-493.